



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 299 574 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1

Patentgesetz der DDR

vom 27.10.1983

In Übereinstimmung mit den entsprechenden  
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) H 01 S 3/094

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21)	DD H 01 S / 329 192 6	(22)	02.08.89	(44)	23.04.92
(71)	siehe (73)				
(72)	Rothardt, Manfred, Dipl.-Phys., DE				
(73)	Carl-Zeiss JENA GmbH, Carl-Zeiss-Straße 1, O - 6900 Jena, DE				
(54)	Anordnung zum transversalen Pumpen von Festkörperlasern				

(55) Festkörperlaser; Pumpenergie; Laserdioden; Laserdioden-Array; transversales Pumpen; Gradientenlinsen; Gradientenlinsen-Array

(57) Die Erfindung betrifft eine Anordnung zum transversalen Pumpen von Festkörperlasern, insbesondere Nd:YAG-Laser. Erfindungsgemäß wird zur Konzentration der Pumpstrahlung der Laserdioden ein ein- oder zweidimensionales Array von Gradientenlinsen zwischen Laserdioden-Array und Laserstab angeordnet. Damit wird eine höhere Miniaturisierung bei gleicher Leistung des Lasers erreicht.

## Patentanspruch:

Anordnung zum transversalen Pumpen von Festkörperlaser mittels Laserdioden oder Laserdioden-Arrays mit einem System zur Lichtkonzentration, dadurch gekennzeichnet, daß zur Lichtkonzentration ein oder mehrere ein- oder mehrzellige Gradientenlinsen-Arrays zwischen Laserstab und den seitlich zum Laserstab parallel zur optischen Achse angeordneten Laserdioden-Arrays angeordnet werden.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

## Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung findet Anwendung im optischen Präzisionsgerätebau, in der Lasermaterialverarbeitung und in der Forschung, z. B. in der Ultrakurzzeitphysik.

## Charakteristik des Standes der Technik

Die früher in breitem Maße angewandte Technik des Pumpens von Festkörperlaser (im folgenden FK-Laser genannt) mit Blitzlampen erreicht nur eine geringe Pumpeffektivität und erzeugt dabei eine hohe unerwünschte Wärmeentwicklung. Daher bedingten die für das Erreichen der Laserschwelle notwendigen hohen Pumpleistungen einen sehr hohen technischen Kühlaufwand. Darüber hinaus waren aufwendige Spiegelsysteme notwendig, um die Strahlung der Blitzlampen in die aktive Laserzone zu bündeln. Um diesen Aufwand herabzusetzen, bietet sich der Einsatz von Laserdioden an, die in den letzten Jahren zu einer hohen Leistungsfähigkeit entwickelt wurden. Beim Einsatz dieser Hochleistungslaserdioden ergeben sich folgende Vorteile: Da die kohärente Strahlung der Laserdioden gut an das Modenvolumen des FK-Lasers anpaßbar ist, bleibt aufgrund des hohen Wirkungsgrades der Dioden die Wärmeentwicklung gering und das Lasermedium wird weniger belastet. Weiterhin kann die Pumpwellenlänge der Dioden ziemlich genau den Resonanzbedingungen des FK-Lasers angepaßt werden. Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Strahlung der Pump Laserdioden in den FK-Laser einzukoppeln:

1. Longitudinales Endflächenpumpen: Dabei wird eine einzelne Laserdiode als Pumpquelle verwendet. Die Strahlung läßt sich sehr gut über eine einfache Einkoppeloptik an das Modenvolumen des FK-Lasers anpassen. Die Ausgangsleistung einer einzelnen Laserdiode ist jedoch begrenzt. Deshalb muß man zum Pumpen von Hochleistungs-FK-Lasern mit cw-Ausgangsleistungen > 500 mW mehrere Laserdioden oder Laserdioden-Arrays einsetzen. Das erfordert jedoch einen höheren technischen Aufwand für die Einkoppeloptik.
2. Fasergekoppeltes Endflächenpumpen: Dabei werden mehrere Laserdioden bzw. Laserdiodenarrays als Pumpquellen verwendet deren Pumpstrahlung über Lichtleitfasern übertragen und vom Faserausgang durch eine Endfläche des Laserstabes eingestrahlt. Die einzelnen Laserdioden können dabei auf eine größere Fläche verteilt werden und die Wärmeableitung bereitet dadurch weniger Probleme. Der Nachteil besteht bei dieser Anordnung im zusätzlichen Aufwand bei der exakten Justierung und Fixierung der einzelnen Lichtleitfasern gegenüber den Laserdioden. Auch verteilt sich die Pumpleistung im FK-Laser auf ein größeres Volumen.
3. Transversales Pumpen: Bei dieser Methode wird eine große Anzahl von Laserdioden seitlich über die gesamte Länge des FK-Lasers angeordnet. Dementsprechend können sehr hohe Pumpleistungen erreicht werden. Auch die Ableitung der Wärme läßt sich gut realisieren. Allerdings läßt sich der Querschnitt des FK-Laserstabes, z. B. eines Nd:YAG-Kristall-Laserstabes nicht beliebig minimieren, da die Eindringtiefe der Pumpstrahlung wegen der relativ geringen Absorption des Lasermediums mindestens 2-3 mm beträgt. Wird die Laserdiodenstrahlung direkt in das Lasermedium eingekoppelt, so verteilt sich die Strahlung auf das gesamte Volumen des Laserstabes und die Pumpeffektivität bleibt aufgrund der geringen Energiedichte gering. Durch Kollimation der Pumpstrahlung und durch ihre zusätzliche Fokussierung läßt sich die Pumpeffektivität wesentlich steigern. Die Verwendung konventioneller Optik bringt hierbei jedoch zwei Nachteile: Einmal sind Abbildungsmaßstab und damit die Energiedichte und die Länge der gepumpten Laserzone im Festkörper nicht unabhängig voneinander wählbar. Besonders beim longitudinalen Pumpen muß die Energiedichte erhöht werden, verkleinert sich gleichzeitig die Länge der gepumpten Laserzone, weil der Abbildungsmaßstab verkleinert werden muß. Zum anderen ist das Verhältnis zwischen Durchmesser und Brennweite bei den konventionellen Kondenslinsen begrenzt. Damit ergibt sich eine entsprechend große Baulänge parallel zur optischen Achse des FK-Lasers. Speziell bei der Verwendung von Zylinderlinsen ist die Apertur begrenzt bei großer Baulänge und führt zu einer starken Verbreiterung der abgebildeten Pumpquellen quer zur sammelnden Wirkung der Zylinderlinse. Damit ergibt sich ebenfalls nur eine geringe Energiedichte.

## Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist es, bei relativ geringer Baugröße eines FK-Lasers eine hohe Ausgangsleistung mit hohem Wirkungsgrad zu erreichen.

## Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zum Pumpen von Festkörperlaser vorzuschlagen, die einen hohen Pumpwirkungsgrad erreicht, wobei die Größe der Anordnung der Pumplichtquellen der Größe des FK-Lasers angepaßt ist, ohne seine Ausgangsleistung dadurch zu begrenzen. Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß ein

Gradientenlinsenindex-Array (GRIN-Linsen-Array) gegebenenfalls in Kombination mit einer sphärischen oder zylindrischen brechenden Fläche zwischen Laserdioden-Array und FK-Laser angeordnet wird, so daß die Strahlung der Laserdioden-Arrays optimal in den aktiven Kanal des FK-Lasers entsprechend dem gewünschten Modenvolumen konzentriert wird. GRIN-Linsen-Array und Kondensorlinse können dabei als ein Element ausgebildet sein. Derart komplette Anordnungen sind mit konventionellen Linsen nicht realisierbar. Ähnliche Anordnungen lassen sich auch mit FK-Lasern verwirklichen, die Glas als Wirtmaterial für die aktiven Laserzentren aufweisen.

#### Ausführungsbeispiele

Die Erfindung wird anhand der schematischen Zeichnungen erläutert.

- Fig. 1: zeigt eine erfindungsgemäße Anordnung zum Pumpen eines Nd:YAG-Laserstabes mit einem eindimensionalen Array aus einzelnen Laserdioden.  
 Fig. 2: zeigt einen Querschnitt durch die Anordnung nach Fig. 1.  
 Fig. 3: ist eine Anordnung zum Pumpen eines Nd:YAG-Lasers mit zweidimensionalen Laserdioden-Arrays zur Erzeugung einer sehr hohen Ausgangsleistung im Querschnitt dargestellt.  
 Fig. 4: zeigt eine viersellige Anordnung von Laserdioden und GRIN-Linsenarrays zum Pumpen eines Nd:YAG-Lasers.  
 Fig. 5: ist eine Anordnung zum Pumpen langer YAG-Laserstäbe unter Verwendung einer GRIN-Zylinderlinse dargestellt.  
 Fig. 6: zeigt eine ähnliche Anordnung wie in Fig. 4, unter Verwendung eines GRIN-Linsenarrays auf einer Zylinderlinse.

1. Die Laserdioden 1 des Laserdioden-Arrays 2 sind auf einer gemeinsamen Wärmesenke angeordnet, die gewährleistet, daß alle Laserdioden 1 mit der gleichen Substrattemperatur arbeiten. Über die Stärke des Injektionsstromes läßt sich dann die Wellenlänge der Strahlung jeder einzelnen Laserdiode auf die Absorptionslinie des Nd:YAG-Lasers feinabstimmen. Im GRIN-Linsen-Array 3 sind die einzelnen GRIN-Linsen 4 linear angeordnet. Der seitliche Abstand zwischen den Linsenmittelpunkten entspricht dem Raster des Laserdioden-Arrays 2 oder wird so gewählt, daß eine Anpassung zwischen der Länge des Laserdioden-Arrays 2 und der Länge des Laserstabes 5 erreicht wird. Die Rückseite 6 des Laserstabes 5 ist gegebenenfalls verspiegelt, um eine Absorption des Pumplichtes auch bei kleinem Querschnitt des Laserstabes 5 zu erreichen.
2. Zur Erzielung einer hohen Pumpenergiedichte sind mehrere Laserdioden-Arrays 1 um den Laserstab 5 angeordnet. Die Strahlung von 2 bis 3 eindimensionalen Laserdioden-Arrays 2 wird dabei über ein gemeinsames GRIN-Linsen-Array im Laserstab 5 konzentriert. Auf Grund des hohen Pumpwirkungsgrades, der durch genaues Abstimmen der Emissionswellenlänge der Laserdioden 1 auf ein Absorptionsmaximum des Lasermediums (hier Neodym) erreicht wird, entsteht dabei so wenig Wärme, daß auch in miniaturisierten Laserstäben sehr hohe Ausgangsleistungen erzielt werden können.
3. Bei YAG-Stäben mit Durchmessern um und größer 5 mm reicht gewöhnlich die Pumpintensität der Laserdioden nicht mehr aus, um einen genügend großen Bereich des Mediums im Stabinneren anzuregen. Deshalb werden die Laserdiodenarrays 2 an allen 4 Längsseiten des Laserstabes 5 angeordnet, wobei die 4 GRIN-Linsenarrays 2 die in dieser Anordnung zwölf Teilbündel in das Stabinnere konzentrieren und mit der wesentlich höheren Energiedichte eine höhere Laserausgangsleistung bei höherer Lichtausbeute erreichen.
4. Zum Pumpen von langen YAG-Laserstäben mit gleichfalls langen Laserdioden-Arrays wird anstelle des GRIN-Linsenarrays 3 ein Array 4 mit einer zylindrischen GRIN-Linse zwischen Laserdioden-Array 2 und Laserstab 5 angeordnet.
5. Das Laserdioden-Array 2 besteht in diesem Beispiel aus einer größeren ( $\geq 3$ ) Laserdioden-Zeile. Um das Licht dieser Dioden in das Innere des YAG-Laserstabes 5 zu konzentrieren, ist zwischen Laserdioden-Array 2 und YAG-Laserstab 5 ein GRIN-Linsen-Array 7 angeordnet, das in die Planfläche einer Zylinderlinse eingearbeitet wurde.

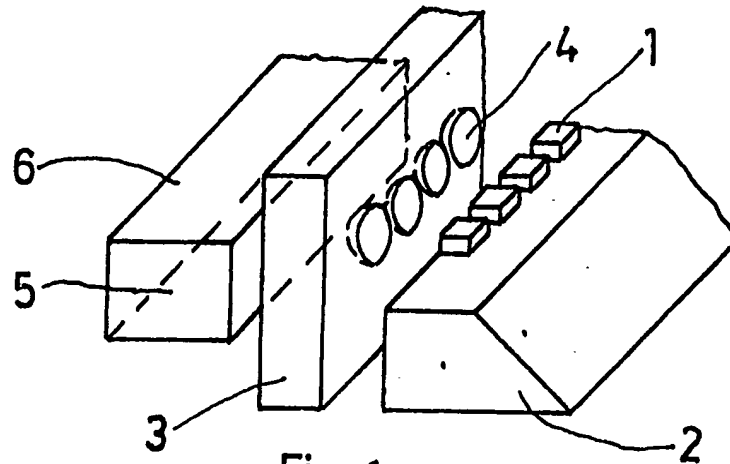


Fig. 1

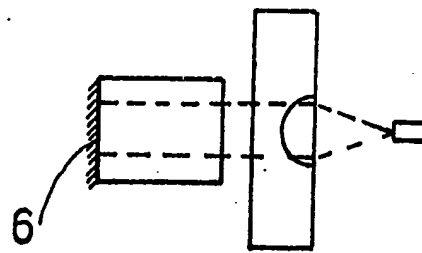


Fig. 2

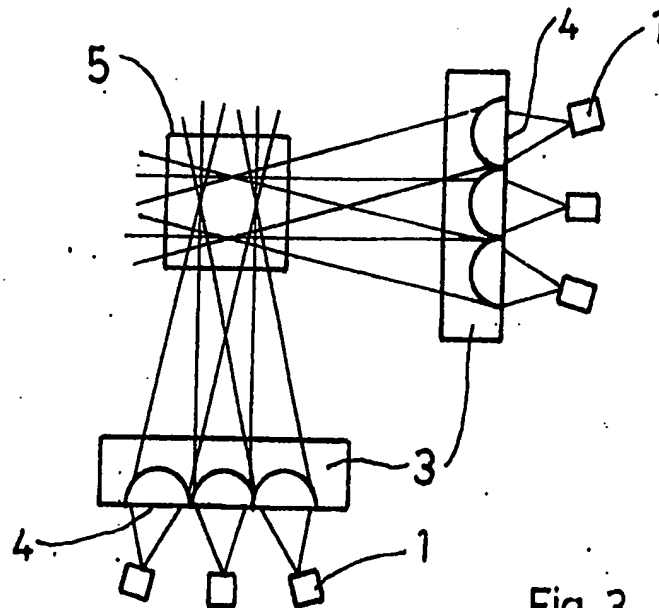


Fig. 3

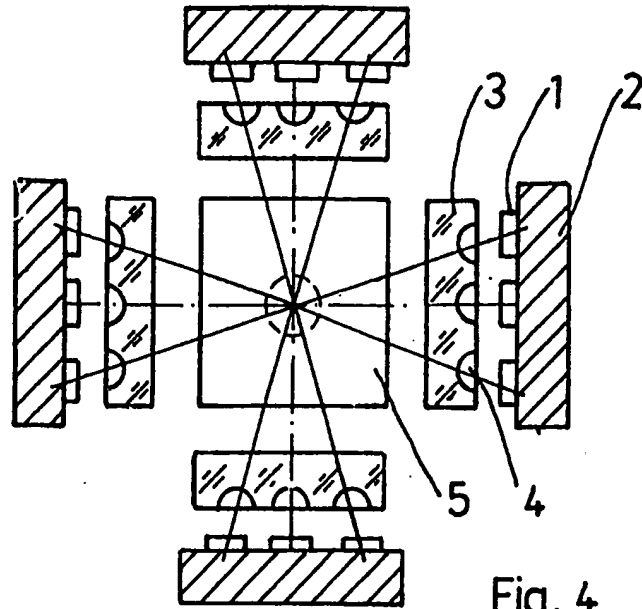


Fig. 4

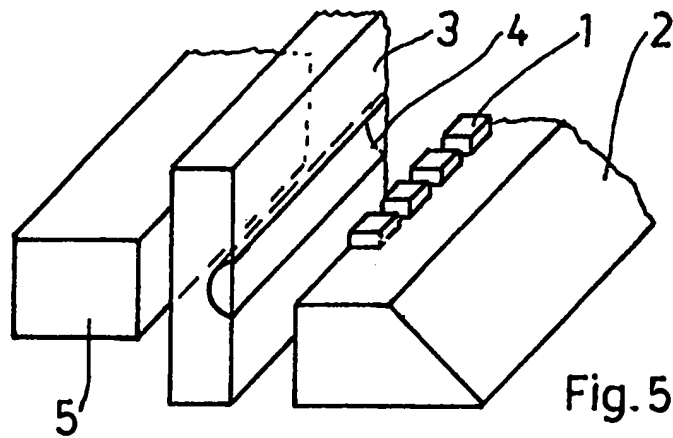


Fig. 5

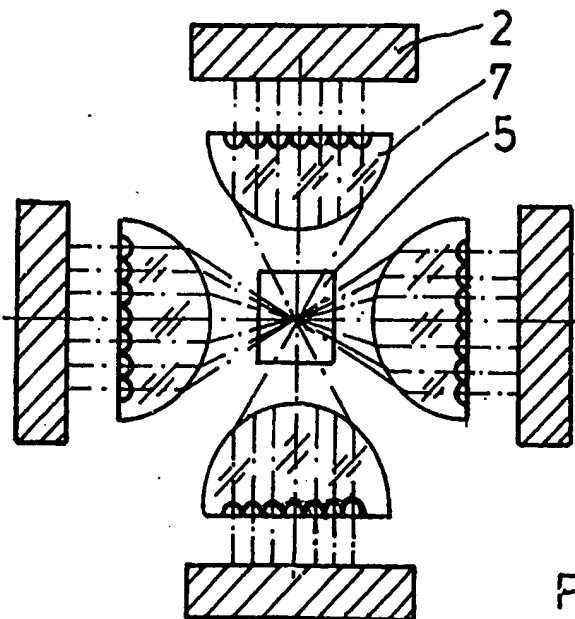


Fig. 6